Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 2, Summer 2023, p. 561-575

The Effect of Melatonin on Some Physiological and Morphological Characteristics of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under Salt Stress

M. Cheraghi[1], A.A. Hatamnia[2]*, F. Ghanbari[3]

Received: 18-08-2022 Revised: 19-10-2022 Accepted: 30-11-2022 Available Online: 30-11-2022	**How to cite this article:** Cheraghi, M., Hatamnia, A.A., & Ghanbari, F. (2023). The effect of melatonin on some physiological and morphological characteristics of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under salt stress. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 561-575. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.78109.1189

Introduction

Salinity is the most important environmental parameter limiting plant growth and productivity. The detrimental effects of high salinity on plants can be observed at the whole-plant level as the death of plants and/or decreases in productivity. Increasing salinity is accompanied by significant reductions in number of leaves per plant, shoot weight, root weight, shoot length, and root length. With an increase in salinity, water potential and osmotic potential of plants become more negative. Two medicinal species of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. are herbaceous and annual plants of the Apiaceae family, which have many uses in the pharmaceutical and food industries. Considering the importance of these two medicinal species and the increase of environmental stresses including salinity stress in recent years, this research aims to investigate the effect of external application of melatonin on resistance to salinity stress in *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. species and its effect on some morphological and physiological characteristics of these two species under salt stress.

Materials and Methods

This research was conducted in a factorial experimental format based on a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments include five levels of salinity (0, 40, 80, 120 and 160 mM) and two levels of melatonin foliar spraying (0 and 100 µM). After the end of the treatment period, the morphological and physiological characteristics of the plant were measured by the different methods. Data analyses were performed using SPSS software version 20. Results were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's multiple comparison test. The results were expressed as mean values and standard error (SE) of the means.

Results and Discussion

The results of variance analysis indicated that species, melatonin and salinity stress have a significant effect on all morphological factors at the $p < 0.05$. The results of compare means showed that the number of leaves in both plants has a significant decrease at the probability level of 5% with the increase in salinity. However, the amount of this decrease in the samples that have been affected by melatonin is lower than the samples without melatonin. The use of melatonin has reduced the negative effects of salinity stress in two plants, so that at the salinity level of 160 mM sodium chloride, the use of melatonin has increased the fresh and dry weight of *coriandrum sativum* L. shoots by 7 and 3.61 times, respectively. The results of variance analysis

1 and 2- M.Sc Student and Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Ilam University, Ilam, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: a.hatamnia@ilam.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
DOI: 10.22067/JHS.2022.78109.1189

showed that melatonin and salinity stress have a significant effect on all pigments. The results shown that with the increase in the level of salinity stress, a significant decrease ($p < 0.05$) was observed in the amount of chlorophyll and anthocyanin pigments of two species. The results of variance analysis showed that species and melatonin have a significant effect at the $p < 0.01$ on all physiological parameters, and salt stress has a significant effect at the $p < 0.01$ on all the physiological parameters except of relative water content. Also, the interaction effects of species with salinity, species with melatonin, melatonin with salinity and the interaction of all three factors have a significant effect at the 1% probability level on the parameters of proline and total phenol.With the increase in salinity, the amount of total protein in both species decreased, but the amount of this decrease was lower in the plants that were treated with melatonin. In *coriandrum sativum* L. plant, the amount of total protein reduction at 160 mM salinity level is 42.31% compared to the control, but this reduction was 28.9% in the plants that were treated with melatonin. Also, in the *Anethum graveolens* L., the amount of total protein reduction at the salinity level of 160 mM was 29.78% and 21.06% respectively, in the samples without melatonin treatment and under melatonin treatment.

Conclusions

The results of variance analysis of the data showed that melatonin has a significant effect at the probability level of 1 and 5% on all morphological and physiological parameters measured in both plants. Also, the compare means showed that with the increase in the level of salinity stress, a significant decrease in the probability level of 5% was observed in the parameters measured in two plants. In general, the external application of melatonin moderates the negative effects of salinity stress, and therefore melatonin can be used to improve the growth of plants under stress.

Keywords: Chlorophyll pigments, Proline, Total protein, Total phenol

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص. ۵۷۵-۵۶۱

تأثیر ملاتونین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) تحت شرایط تنش شوری

میلاد چراغی[1]- علی اصغر حاتم نیا[2*]- فردین قنبری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹

چکیده

دو گونه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) گیاهانی علفی و یکساله از خانواده چتریان هستند که کاربردهای متعددی در صنایع دارویی و غذایی دارند. ملاتونین در گیاهان به‌عنوان محرک زیستی یا مولکول تحریک‌کننده رشد مورد ارزیابی قرار گرفته است و موجب افزایش تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده و بهبود رشد و توسعه گیاه می‌شود. این پژوهش در قالب آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح شوری (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌مولار) و دو سطح محلول‌پاشی برگی ملاتونین (صفر و ۱۰۰ میکرومولار) است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری کاهش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو گیاه گشنیز و شوید مشاهده شده است. با این حال، کاربرد ملاتونین سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری در دو گیاه شده است، به‌طوری‌که در سطح شوری ۱۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاربرد ملاتونین به ترتیب سبب افزایش ۶ و ۳/۶۱ برابری وزن تر و خشک شاخساره گیاه گشنیز شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ملاتونین اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بر روی همه پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در هر دو گیاه دارد. گونه، تنش شوری، ملاتونین و اثرات متقابل آنها دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر روی میزان پرولین و فنل کل بوده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان پروتئین کل در هر دو گیاه گشنیز و شوید کاهش یافته است، ولی میزان این کاهش در نمونه‌هایی که تحت تیمار ملاتونین قرار گرفته بودند کمتر می‌باشد. در گیاه گشنیز میزان کاهش پروتئین کل در سطح شوری ۱۶۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد ۴۲/۳۱ درصد می‌باشد ولی این کاهش در نمونه‌هایی که تحت تیمار ملاتونین قرار گرفتند ۲۸/۹ درصد بود. به‌طورکلی می‌توان گفت که کاربرد خارجی ملاتونین سبب تعدیل اثرات منفی تنش شوری شده و بنابراین می‌توان از ملاتونین جهت بهبود رشد گیاهان تحت تنش استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین کل، پرولین، رنگیزه‌های کلروفیل، فنل کل

مقدمه

تنش نتیجه‌ی روند غیرعادی فرآیندهای فیزیولوژیکی است که از تأثیر یک یا ترکیبی از عوامل زیستی و محیطی حاصل می‌شود (Levitt, 1980). تنش‌های محیطی به طور کلی حدود ۷۱ درصد از عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهند که در این میان افت عملکرد در اثر دمای بالا ۱۵ درصد، دمای پایین ۴۰ درصد، تنش خشکی ۱۷ درصد و تنش شوری ۲۰ درصد برآورد شده است (Ashraf and Harris, 2005). تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش های محیطی است که تولید محصولات زراعی و دارویی را با مشکل مواجه کرده است. سمیت یونی، تنش اسمزی و کمبود مواد مغذی که در شرایط وقوع شوری رخ می دهد، سبب بهم خوردن توازن

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: a.hatamnia@ilam.ac.ir
۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
DOI: 10.22067/JHS.2022.78109.1189

متابولیکی و در پی آن تنش اکسیداتیو می‌گردند. انباشتگی نمک در برگ‌ها باعث پیری زودرس، کاهش ساخت آسیمیلات‌ها برای نواحی رشدی و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Parida and Das, 2005).

استفاده از محرک‌های زیستی به منظور افزایش کیفیت و پایداری عملکرد گیاهان زراعی و دارویی از اهمیت بالایی برخوردار است. از موادی که اخیراً به‌صورت کاربرد خارجی جهت افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها و یا افزایش عملکرد و کیفیت آنها در شرایط مزرعه استفاده می‌شود، ملاتونین است. ملاتونین (N-استیل ۵-متوکسی تریپتامین) با فرمول شیمیایی $C_{13}H_{16}N_2O_2$ هورمونی طبیعی از تیپ ایندول‌آمین مشتق شده از تریپتوفان (اناستیل ۵ متوکسی تریپتامین) است که در موجودات مختلف از جمله پروکاریوت‌ها، یوکاریوت‌های تک یاخته‌ای، قارچ‌ها، جلبک‌ها، جانوران و گیاهان به اثبات رسید (Janas and Posmyk, 2013). ملاتونین در گیاهان به‌طور طبیعی سنتز می‌شود و به‌طور گسترده‌ای در غلظت‌های مختلف در گیاهان وجود دارد و به‌عنوان محرک زیستی یا مولکول تحریک‌کننده رشد مورد ارزیابی قرار گرفته است و موجب افزایش تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده و بهبود رشد و توسعه گیاه می‌شود و همچنین گزارش شده است که ملاتونین ایفاگر عملکردهای ضروری در تنظیم رشد و نمو گیاه شامل فرآیندهای تحریک رشد رویشی، جوانه‌زنی، ریشه‌دهی و گلدهی است و از نظر مسیر بیوسنتز و اعمال فیزیولوژیک دارای اشتراکاتی با هورمون شناخته شده ایندول استیک اسید است (Arnao; Li *et al*., 2017; Janas and and Hernandez-Ruiz, 2014; Posmyk, 2013; Tan *et al*., 2012). در گیاهان، ملاتونین به‌عنوان یک نوع تنظیم کننده رشد گیاهی، شبیه نقش ایندول استیک اسید (IIA)، در افزایش رشد سلول‌ها برای تسریع رشد عمل می‌کند (Zhang *et al*., 2013). ملاتونین به عنوان خط اول دفاع و حس‌گر داخلی تنش اکسیداتیو در گیاهان گزارش شده است (Tan *et al*., 2011).

مکانیسمی که ملاتونین رشد ریشه و بخش هوایی را در گیاهان افزایش می‌دهد به خوبی شناخته نشده است، اما احتمال دارد که ملاتونین تعادل هورمونی را در گیاه تغییر داده و تحت شرایط تنش، سبب افزایش اکسین و سیتوکنین می‌شود (Chen *et al*., 2009). ملاتونین به عنوان جاروب کننده عوامل اکسیداتیو و متعادل‌کننده فرآیندهایی که تعادل ردوکس سلول را تغییر می‌دهند، می‌توانند در متحمل کردن گیاهان به نمک گزینه مناسبی باشد (Park and Back, 2012). در مطالعات مختلف اثرات مثبت ملاتونین در تعدیل عوامل تنش‌زا به اثبات رسیده است (Zhang *et al*., 2014). در مطالعه‌ای مشاهده شد، محلول‌پاشی با ملاتونین باعث بهبود تنظیم اسمزی و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن شد و اثرات منفی تنش خشکی بر فتوسنتز را کاهش داد و رشد و عملکرد گیاه سویا را بالا برد (Zou *et al*., 2019).

دو گونه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) گیاهانی علفی و یکساله از خانواده چتریان هستند که کاربردهای متعددی در صنایع و دارویی و غذایی دارند (Mahram *et al*., 1992; Omidbaigi, 2000; Sefidkon, 2001). با توجه به اهمیت این دو گونه دارویی و افزایش تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری در طی سال‌های اخیر، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر فیتوهورمون ملاتونین بر مقاومت به تنش شوری در گونه‌های دارویی گشنیز و شوید و تأثیر آن بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی این دو گونه، تحت سطوح مختلف تنش شوری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح شوری (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌مولار) و دو سطح محلول‌پاشی برگی ملاتونین (صفر و ۱۰۰ میکرومولار) است. بذرهای گونه‌های گشنیز و شوید در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر که به نسبت ۲: ۱: ۱ از خاک زراعی، کود دامی پوسیده و ماسه‌بادی پر شده بودند، در شرایط دمایی ۲۵ درجه‌سانتی‌کاشته شدند و بعد از سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها اقدام به تنک کردن گیاهچه‌ها شد. تا استقرار کامل گیاهان گلدان‌ها با آب معمولی آبیاری می‌شدند، بعد از استقرار کامل گیاهان، اقدام به اعمال تیمار شوری در سطوح مختلف (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) شد و گیاهچه‌ها هفته‌ای دو بار با تیمارهای شوری مورد نظر، آبیاری می‌شدند. لازم به ذکر است که به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک هر دو هفته یکبار گلدان‌ها با آب معمولی آبیاری می‌شدند، همچنین اعمال تیمار شوری همراه با زه آب بود و به این ترتیب تجمع نمک در گلدان‌ها به حداقل رسید. همچنین تیمار ملاتونین در طول دوره رشد سه بار به‌صورت محلول‌پاشی برگی بعد از اعمال شوری اعمال گردید. پس از پایان دوره اعمال تیمارها، صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه به روش‌های ذیل اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری طول بخش هوایی و ریشه با استفاده از خط‌کش طول شاخساره و ریشه از طوقه اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر گزارش شد. برای اندازه گیری وزن تر شاخساره و ریشه، شاخساره و ریشه گیاه از محل طوقه قطع شده و جداگانه توزین شدند. برای اندازه گیری وزن خشک شاخساره و ریشه، شاخساره‌ها و ریشه‌های جدا شده در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک

شوند و سپس اقدام به توزین وزن خشک شاخساره و ریشه شد.

برای سنجش میزان رنگیزه‌های کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل از روش پورا (Porra, 2002)، کاروتنوئید از روش لیختن تالر و ولبورن (Lichtenthaler and Wellburn, 1983) و آنتوسیانین از روش سیمز و گامون (Sims and Gamon, 2002) استفاده شد. ابتدا مقدار ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه گیاه در پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در داخل هاون چینی ساییده شد. سپس یک میلی لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ با ۴ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط شد. پس از آن میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰، ۵۳۷، ۶۴۷، ۶۶۳، ۶۶۳/۶ و ۶۴۶/۶ نانومتر قرائت شدند و نهایتاً غلظت رنگیزه‌های مختلف با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

$$Chl\ a = (12.25 \times A663.6 - 2.55 \times A646.6)$$
$$Chl\ b = (20.31 \times A646.6 - 4.91 \times A663.6)$$
$$Total\ Chl = (17.76 \times A646.6 + 34 \times A663.6)$$
$$Carten = (1000 \times A470 - 3.27 \times chl\ a - 104 \times chl\ b) \div 227$$
$$Anthocyanin = (0.08173 \times A537 - 0.00697 \times A647 - 0.002228 \times A663)$$

در این رابطه A نیز میزان جذب قرائت شده توسط دستگاه اسپکترومتر در طول موج‌های معین شده است.

برای ارزیابی میزان نفوذپذیری غشاء، میزان نشت یونی برگ با استفاده از روش لوتس و همکاران (Lutts *et al.*, 1996) ارزیابی شد. برای این منظور تعداد ۶ دیسک برگی به صورت تصادفی از گیاهان هر تیمار از جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه یافته، به لوله‌های آزمایش با حجم ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر انتقال یافت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و شدت نورکم قرار داده شدند. هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه‌ها (EC1) توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در حمام آب جوش (۹۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند و پس از سرد شدن EC2 آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد و در نهایت نشت الکترولیتی با معادله زیر محاسبه گردید.

$$EC\% = [\ EC1/EC2] \times 100$$

در این رابطه EC نشت الکترولیتی و EC1 و EC2 نیز به ترتیب هدایت الکترولیتی قبل و بعد از حمام آب جوش هستند.

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) بعد از توزین برگ‌های تازه، آنها را در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و زیر نور چراغ با شدت روشنایی ۶۰۰ تا ۷۰۰ لوکس در داخل آب قرار داده شدند، تا برگ‌ها به اندازه نیاز آب جذب نماید و پس از ۴ تا ۶ ساعت به حالت آماس درآیند. بعد از خشک کردن برگ‌های آماس شده وزن آنها اندازه‌گیری شد. پس از توزین، برگ‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون، به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. وزن برگ ها پس از خشک شدن نیز اندازه‌گیری و مقدار محتوای نسبی آب برگ از معادله زیر حساب شد.

$$RWC = F_w - D_w / S_w - D_w \times 100$$

در این رابطه F_w: وزن تر، D_w: وزن خشک و S_w: وزن اشباع برگ، می‌باشند.

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) استفاده شد. ابتدا ۵۰۰ میلی‌گرم بافت زنده گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوسالیسیلیک (۳٪) در هاون ساییده، سپس ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده با ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال مخلوط شدند. سپس لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، پس از خروج، نمونه‌ها در حمام یخ به‌مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شده و سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محتوای هر لوله اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه به‌وسیله ورتکس مخلوط گردیدند. بعد از انکوباسیون در دمای اتاق و ایجاد دو لایه مجزا، سرانجام جذب نوری لایه رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری پروتئین، عصارهٔ آنزیمی، از ساییده شدن ۰/۲ گرم بافت تازه گیاهی در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار (با اسیدیتهٔ ۶/۸) تهیه شد و سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. فاز رویی برای اندازه‌گیری پروتئین محلول استفاده شد. برای اندازه‌گیری پروتئین به روش برادفورد (Bradford, 1976) به یک میلی‌لیتر از معرف برادفورد، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد و پس اختلاط کامل در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده شد و جذب آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر ثبت گردید. غلظت پروتئین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد در غلظت‌های ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر که توسط آلبومین گاوی تهیه شده بود، محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل از روش فولین–سیوکالته استفاده شد (Singleton and Rossi, 1965). به این منظور ۰/۱ گرم نمونه برگی با اضافه کردن سه میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد ساییده شد و پس از صاف کردن آن با کاغذ صافی، ۳۰۰ میکرولیتر آن برداشته شد و به آن ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ درصد اضافه گردید و به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس به آن ۱/۲ میلی‌لیتر کربنات ۷ درصد اضافه شده و پس از دو ساعت تکان دادن روی شیکر در دمای اتاق، جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. با استفاده از استاندارد اسید گالیک مجموع فنل به صورت میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تازه بیان شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس تک‌سویه (ANOVA) به روش GLM صورت گرفت و میانگین‌ها توسط آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد (P <۰/۰۵) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که گونه، ملاتونین، تنش شوری و اثرات متقابل گونه و تنش شوری دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بر همه پارامترهای مورفولوژیکی می‌باشند، با این حال، اثر متقابل گونه، ملاتونین و تنش شوری روی هیچ‌کدام از پارامترهای مورفولوژیکی اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس کاربرد ملاتونین بر ویژگی‌های مورفولوژی گیاه گشنیز و شوید تحت تنش شوری

Table 1- ANOVA for the effect of melatonin application on the morphological traits of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under salinity stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		طول شاخساره Shoot length	طول ریشه Root length	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد برگ Leaf number
گونه Species (S)	1	170.017**	48.600**	1.48**	0.027**	0.080**	0.009**	64.067**
ملاتونین Melatonin (M)	1	277.350**	153.600**	3.060**	0.067**	0.023**	0.004**	4.267**
تنش شوری Salinity stress (SS)	4	224.767**	271.375**	7.332**	0.206**	0.106**	0.018**	13.150**
S×M	4	88.817**	2.400	0.009*	0.018**	0.001	1.667	0.267
S×SS	4	13.600**	9.558*	2.288**	0.057**	0.040**	0.005**	0.733*
M×SS	4	4.683*	10.392*	0.691**	0.012**	0.002	0.0	0.183
S×M×SS	4	0.983	2.680	0.043	0.0	0.001	8.18	0.100
خطا Error	40	1.283	3.600	0.022	0.001	0.001	0.0	0.217
ضریب تغییرات C.V (%)		0.82	1.34	2.30	2.87	3.30	3.84	1.29

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and *: significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively

مقایسه میانگین دادها نشان داد که با افزایش سطح شوری طول شاخساره به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) در هر دو گونه مورد مطالعه کاهش یافته است و کاربرد ملاتونین سبب کاهش اثرات تنش شوری شده است، به‌طوری‌که بیشترین میزان طول شاخساره در گشنیز و شوید در سطح شوری صفر میلی‌مولار و کاربرد ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین (به ترتیب ۲۵ و ۲۹/۳۳ سانتی‌متر) و کمترین میزان طول شاخساره در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد ملاتونین (به ترتیب ۷/۶۶ و ۱۳ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین و کمترین طول ریشه گشنیز به ترتیب در غلظت صفر میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین (۲۵/۶۶ سانتی متر) و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و صفر میلی مولار ملاتونین (۱۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. همچنین، بیشترین طول ریشه شوید در غلظت صفر میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین (۳۱/۳۳ سانتی‌متر) و کمترین طول ریشه در ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و صفر میلی‌مولار ملاتونین (۱۲/۳۳ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج نشان داد که افزایش سطح شوری باعث کاهش وزن تر و خشک شاخساره و ریشه در هر دو گیاه گشنیز و شوید شده، با این حال میزان این کاهش در گیاه شوید بیشتر از گشنیز می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد ملاتونین اثرات منفی تنش شوری را کاهش داده است، به‌طوری‌که در سطح شوری ۱۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم وزن تر و خشک شاخساره گیاه گشنیز تحت

تیمار ملاتونین به ترتیب ۶ و ۳/۶۱ برابر گیاه گشنیزی می‌باشد که فاقد کاربرد ملاتونین می‌باشد. همچنین، وزن تر و خشک ریشه گیاه گشنیز تحت تیمار ملاتونین در سطح شوری ۱۶۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱/۶۹ و ۱/۸۲ برابر گیاه گشنیزی می‌باشد که فاقد کاربرد ملاتونین می‌باشد (جدول ۲).

نتایج میانگین داده‌ها نشان داد که تعداد برگ‌ها در هر دو گیاه گشنیز و شوید با افزایش میزان شوری کاهش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند. با این حال، میزان این کاهش در نمونه‌هایی که تحت تأثیر ملاتونین قرار گرفته‌اند نسبت به نمونه‌های فاقد ملاتونین کمتر می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- اثر ملاتونین بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه گشنیز و شوید تحت تنش شوری

Table 2- The effect of melatonin on the morphological traits of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under salt stress

سطح ملاتونین Melatonilevel (µM)	سطوح شوری Salinity levels (mM NaCl)	طول شاخساره Shoot length (cm)	طول ریشه Root length (cm)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	تعداد برگ Leaf number
				گشنیز				
0	0	16.00±0.57^{cd}	20.33±0.88^{b}	0.66±0.096^{bcd}	0.133±0.014^{bcd}	0.087±0.003^{cd}	0.059±0.009^{ab}	6.33±0.33^{ab}
	40	15.09±0.09^{de}	16.66±0.66^{cd}	0.51±0.005^{cd}	0.082±0.004^{cde}	0.069±0.004^{def}	0.036±0.002^{bcd}	6.00±0.0^{bc}
	80	13.33±0.88^{ef}	15.66±0.33^{de}	0.42±0.023^{de}	0.061±0.001^{de}	0.056±0.002^{f}	0.025±0.001^{cd}	5.33±0.33^{bcd}
	120	11.00±0.57^{f}	14.66±0.33^{de}	0.34±0.008^{de}	0.053±0.006^{de}	0.050±0.007^{fg}	0.020±0.001^{d}	5.00±0.0^{cde}
	160	7.66±0.66^{g}	10.00±0.05^{f}	0.07±0.006^{e}	0.026±0.006^{e}	0.036±0.001^{g}	0.017±0.001^{d}	4.00±0.0^{e}
100	0	25.00±0.57^{a}	25.66±1.66^{a}	1.83±0.176^{a}	0.333±0.039^{a}	0.200±0.008^{a}	0.085±0.013^{a}	7.33±0.33^{a}
	40	21.00±0.57^{b}	20.66±0.66^{b}	0.98±0.059^{b}	0.167±0.006^{b}	0.108±0.001^{b}	0.046±0.001^{bc}	6.33±0.33^{ab}
	80	18.33±0.33^{c}	19.66±0.33^{bc}	0.80±0.055^{bc}	0.137±0.010^{bc}	0.059±0.001^{bc}	0.040±0.001^{bcd}	6.00±0.0^{bc}
	120	17.00±0.08^{cd}	16.33±0.33^{cde}	0.63±0.006^{bcd}	0.112±0.004^{bcd}	0.080±0.002^{cde}	0.038±0.001^{bcd}	5.66±0.33^{bcd}
	160	15.33±0.33^{de}	13.00±0.04^{ef}	0.42±0.078^{de}	0.094±0.004^{cde}	0.061±0.002^{ef}	0.031±0.002^{cd}	4.66±0.33^{de}
				شوید				
0	0	26.00±1.00^{a}	24.00±2.08^{b}	2.40±0.20^{b}	0.437±0.053^{b}	0.390±0.043^{a}	0.145±0.0132^{a}	5.33±0.66^{ab}
	40	19.00±0.0^{bc}	19.33±0.33^{bc}	0.66±0.03^{cd}	0.149±0.036^{c}	0.155±0.031^{bc}	0.062±0.0118^{bc}	4.00±0.0^{bc}
	80	18.00±0.0^{bcd}	17.33±0.663^{bcd}	0.46±0.06^{cd}	0.072±0.010^{cd}	0.080±0.005^{bcd}	0.034±0.0041^{bcd}	3.00±0.0^{cd}
	120	16.00±0.57^{cde}	15.33±0.33^{cd}	0.26±0.01^{d}	0.037±0.003^{cd}	0.054±0.005^{cd}	0.024±0.0008^{cd}	2.66±0.33^{cd}
	160	13.00±0.0^{e}	12.33±0.66^{d}	0.20±0.01^{d}	0.024±0.002^{c}	0.031±0.006^{d}	0.018±0.0051^{d}	2.00±0.0^{d}
100	0	29.33±1.45^{a}	31.33±3.52^{a}	3.83±0.14^{a}	0.579±0.024^{a}	0.436±0.044^{a}	0.184±0.0191^{a}	5.66±0.33^{a}
	40	21.66±0.33^{b}	21.00±0.57^{bc}	0.86±0.13^{c}	0.128±0.003^{cd}	0.191±0.016^{b}	0.074±0.0094^{b}	4.00±0.0^{bc}
	80	19.00±1.00^{bc}	18.66±0.66^{bcd}	0.53±0.05^{cd}	0.101±0.013^{cd}	0.117±0.015^{bcd}	0.056±0.00^{bcd}	3.33±0.33^{cd}
	120	16.66±0.66^{cde}	16.33±0.33^{cd}	0.35±0.02^{cd}	0.044±0.001^{cd}	0.068±0.001^{cd}	0.033±0.0066^{bcd}	3.00±0.0^{cd}
	160	14.66±0.88^{de}	15.00±0.57^{cd}	0.25±0.02^{d}	0.028±0.002^{d}	0.048±0.007^{cd}	0.017±0.0045^{cd}	3.00±0.0^{cd}

داده‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on the Tukey test ($p\leq0.05$).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ملاتونین و تنش شوری دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بر روی همه رنگیزه‌ها دارند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل گونه با ملاتونین دارای تأثیر معنی‌داری بر همه رنگیزه‌ها بجز کاروتنوئیدها دارد و همچنین اثرات متقابل گونه با شوری، ملاتونین با شوری و اثر متقابل هر سه عامل دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بر همه رنگیزه‌ها می‌باشند (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری کاهش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در میزان رنگیزه های کلروفیلی و آنتوسیانین دو گیاه گشنیز و شوید مشاهده شده است. با این حال، کاربرد ملاتونین سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری در دو گیاه شده است (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که گونه و ملاتونین دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر همه پارامترهای فیزیولوژیک می‌باشند، همچنین تنش شوری دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر روی همه پارامترهای فیزیولوژیک به غیر از محتوی نسبی آب می‌باشد. همچنین، اثرات متقابل گونه با شوری، گونه با ملاتونین، ملاتونین با شوری و اثر متقابل هر سه عامل دارای تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر پارامترهای میزان پرولین و فنل کل دارند (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس کاربرد ملاتونین بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گشنیز و شوید تحت تنش شوری

Table 3- ANOVA for the effect of melatonin application on the leaf photosynthetic pigment content of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under salinity stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll a	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئیدها Carotenoid	آنتوسیانین Anthocyanin
گونه Species (S)	1	129.125**	1.006	152.925**	3.198**	0.000017**
ملاتونین Melatonin (M)	1	32.198**	3.561*	58.505**	1.769*	0.000027**
تنش شوری Salinity stress (SS)	4	76.738**	5.029**	120.733**	4.646**	0.000021**
S×M	4	22.915*	5.351*	50.412*	0.942	0.000030**
S×SS	4	37.646**	4.298**	66.709**	1.704**	0.000020**
M×SS	4	28.951**	2.448**	47.875**	1.015*	0.000004**
S×M×SS	40	36.568**	2.925**	60.101**	1.439**	0.000005**
خطا Error		3.986	0.567	7.330	0.286	0.000003**
ضریب تغییرات C.V (%)		3.55	3.33	3.44	3.17	0.001

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and *: significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively

جدول ٤- اثر ملاتونین بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گشنیز و شوید تحت تنش شوری

Table 4- The effect of melatonin application on the leaf photosynthetic pigment content of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under salt stress

سطح ملاتونین Melatonin level (µM)	سطوح شوری Salinity levels (mM NaCl)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g-1 F.W)	کلروفیل b Chlorophyll a (mg.g-1 F.W)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g-1 F.W)	کاروتنوئیدها Carotenoid (mg.g-1 F.W)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g-1 F.W)
				Coriandrum sativum L. گشنیز		
0	0	8.30±1.35ab	3.47±0.45ab	11.77±1.80ab	2.72±0.38a	0.0103±0.0010a
	40	4.12±0.21abcd	2.24±0.32ab	6.36±0.39abc	1.70±0.13ab	0.0058±0.0006abc
	80	6.83±1.24abcd	3.21±0.45ab	10.05±1.70abc	2.58±0.41ab	0.0090±0.0008abc
	120	5.95±0.42abcd	3.00±0.21ab	8.96±0.64abc	1.78±0.11ab	0.0075±0.0015abc
	160	3.10±0.47d	2.23±0.17ab	5.33±0.61c	0.67±0.04c	0.0051±0.0015bc
100	0	7.81±0.64abc	3.14±0.26ab	10.96±0.90abc	2.52±0.18ab	0.0088±0.0010abc
	40	3.93±0.77bcd	1.76±0.22b	5.69±1.01bc	1.59±0.26ab	0.0056±0.0001abc
	80	5.72±1.30abcd	2.86±0.62ab	8.59±1.92abc	2.11±0.37ab	0.0085±0.0012abc
	120	8.50±1.20a	3.86±0.45a	12.37±1.66a	2.45±0.36ab	0.0098±0.0006ab
	160	3.61±0.03cd	1.97±0.06b	5.58±0.09bc	1.26±0.08bc	0.0045±0.0003c
				Anethum graveolens L.شوید		
0	0	8.10±0.85b	2.53±0.14b	10.64±0.79b	2.29±0.23b	0.0055±0.0006ab
	40	9.80±0.34b	3.45±0.12b	13.35±0.64b	2.88±0.13b	0.0072±0.0004ab
	80	7.30±1.65b	2.45±0.61b	9.75±2.27b	2.10±0.45b	0.0042±0.0010b
	120	5.16±0.79b	1.77±0.33b	6.94±1.11b	1.49±0.28b	0.0027±0.0005b
	160	6.43±1.98d	2.15±0.62b	8.58±2.60b	1.74±0.57b	0.0057±0.0017ab
100	0	22.36±2.53a	6.78±0.91a	29.05±3.45a	4.93±0.41a	0.0110±0.0006b
	40	8.17±1.29b	3.19±0.55b	11.37±1.80b	2.52±0.30b	0.0082±0.0017ab
	80	7.65±0.83b	3.08±0.16b	10.73±0.94b	2.30±0.27b	0.0079±0.0018ab
	120	5.12±0.93b	2.14±0.51b	7.27±1.41b	1.63±0.27b	0.0061±0.0019ab
	160	7.21±0.85b	2.67±0.30b	9.89±1.16b	1.20±0.23b	0.0059±0.0008ab

داده‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on the Tukey test ($p\leq 0.05$).

جدول ۵- تجزیه واریانس کاربرد ملاتونین بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه گشنیز و شوید تحت تنش شوری

Table 5- ANOVA for the effect melatonin application on the Physiological traits of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under salinity stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		محتوی نسبی آب Water relative content	نشت یونی Ion leakage	پرولین Proline	پروتئین کل Total Protein	فنل کل Total phenolic
گونه Species (S)	1	538.756*	13183.41**	2817.105**	25.585**	1316.385**
ملاتونین Melatonin (M)	1	209.686*	484.820**	1762.105**	213.868**	117.071**
تنش شوری Salinity stress SS)	4	2683.417	7054.123**	5833.299**	174.706**	101.745**
S×M	4	0.014	23.207	6355.484**	1.778	14.306**
S×SS	4	57.264	945.918**	4309.023**	15.603**	75.759**
M×SS	4	7.888	40.416	1316.389**	6.047	3.808**
S×M×SS	40	34.278	35.279	1033.496**	0.468	3.342**
خطا Error		48.022	21.250	107.560	3.17	1.278
ضریب تغییرات C.V (%)		1.16	1.23	3.64	0.79	1.02

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and *: significant at $p≤0.01$ and $p≤0.05$, respectively

نتایج میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو گیاه گشنیز و شوید محتوای نسبی آب با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشته، ولی میزان این کاهش در نمونه‌هایی که تحت تیمار ملاتونین قرار گرفته بودند کمتر می‌باشد. برعکس، با افزایش سطح شوری درصد نشت یونی افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشته است، که میزان این کاهش در نمونه‌های تحت تیمار ملاتونین نسبت به نمونه‌های دیگر کمتر می‌باشد (جدول ۶).

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان پرولین افزایش یافته است، به‌طوری‌که میزان این افزایش در گیاه گشنیز خیلی بیشتر از شوید می‌باشد. با این حال، نتایج میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان فنل کل افزایش یافته است، به‌طوریکه میزان این افزایش در گیاه شوید بیشتر از گشنیز می‌باشد (جدول ۶).

با افزایش سطح شوری میزان پروتئین کل در هر دو گیاه گشنیز و شوید کاهش یافته است، ولی میزان این کاهش در نمونه‌هایی که تحت تیمار ملاتونین قرار گرفته بودند کمتر می‌باشد. در گیاه گشنیز میزان کاهش پروتئین کل در سطح شوری ۱۶۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد ۴۲/۳۱ درصد می‌باشد ولی این کاهش در نمونه‌هایی که تحت تیمار ملاتونین قرار گرفتند ۲۸/۹ درصد بود. همچنین، در گیاه شوید میزان کاهش پروتئین کل در سطح شوری ۱۶۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد در نمونه‌های فاقد تیمار ملاتونین و تحت تیمار ملاتونین به ترتیب ۲۹/۷۸ و ۲۱/۰۶ درصد بود (جدول ۶).

تنش شوری باعث کاهش رشد و تغییرات در متابولیسم گیاهان می‌شود. یکی از محرک‌ها و ترکیب‌های زیستی شناخته شده در برابر تنش‌ها و همچنین بهبود دهنده رشد گیاهان در شرایط نرمال، ملاتونین می‌باشد (Li *et al*., 2015; Janas and Posmyk, 2013; Zhang *et al*., 2015). محلول‌پاشی ملاتونین موجب افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش می‌شود (Tan *et al*., 2011). در این تحقیق نیز نشان داده شد که فیتوهورمون ملاتونین می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه در شرایط تنش و عدم تنش شود. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهند که استفاده از ملاتونین سبب مقاومت به تنش شوری در هندوانه، سیب و خیار شده است (Gao *et al*., 2019). در گیاه کلم نیز نشان داده شده است که استفاده از ملاتونین موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Zhang *et al*., 2014).

جدول ٦- اثر ملاتونین بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه گشنیز و شوید تحت تنش شوری

Table 6- the effect of melatonin application on the physiological traits of *Coriandrum sativum* L. and *Anethum graveolens* L. under salt stress

سطوح ملاتونین **Melatonin levels (µM)**	سطوح شوری **Salinity levels (mM NaCl)**	محتوی نسبی آب برگ **Leaf water relative content (%)**	نشت یونی **Ion leakage (%)**	پرولین **Proline (µg.g^{-1} F.W)**	پروتئین کل **Total protein (mg.g^{-1} F.W)**	فنل کل (**Total phenol (mg.100 g^{-1} F.W)**
			گشنیز			
0	0	93.30 ± 0.87^{ab}	20.27 ± 0.95^{g}	3.66 ± 0.09^{d}	33.06 ± 0.53^{ab}	8.49 ± 0.027^{c}
	40	88.19 ± 1.04^{ab}	53.70 ± 5.64^{e}	30.73 ± 6.06^{cd}	30.82 ± 0.23^{abc}	8.57 ± 0.006^{c}
	80	83.26 ± 0.88^{ab}	76.29 ± 1.12^{cd}	44.21 ± 3.21^{bc}	29.01 ± 0.53^{abc}	8.66 ± 0.013^{c}
	120	77.03 ± 2.24^{b}	86.67 ± 0.94^{abc}	64.86 ± 5.32^{b}	27.48 ± 0.30^{bc}	8.77 ± 0.044^{c}
	160	48.07 ± 2.82^{c}	95.13 ± 1.75^{a}	153.25 ± 11.89^{a}	19.07 ± 4.82^{d}	9.03 ± 0.096^{c}
100	0	96.73 ± 1.64^{a}	18.00 ± 1.75^{g}	8.02 ± 1.04^{d}	35.24 ± 0.47^{a}	9.50 ± 0.032^{bc}
	40	91.80 ± 0.93^{ab}	35.08 ± 1.68^{f}	28.40 ± 4.19^{cd}	32.84 ± 0.41^{ab}	10.49 ± 0.005^{ab}
	80	83.89 ± 0.61^{ab}	72.67 ± 2.91^{d}	13.56 ± 2.12^{cd}	32.62 ± 0.53^{ab}	10.55 ± 0.023^{a}
	120	81.16 ± 0.96^{ab}	81.92 ± 2.05^{bcd}	18.33 ± 2.99^{cd}	30.87 ± 0.09^{abc}	10.66 ± 0.013^{a}
	160	55.12 ± 2.35^{c}	89.75 ± 1.16^{ab}	71.29 ± 4.12^{b}	25.03 ± 2.80^{cd}	11.42 ± 0.644^{a}
			Anethum graveolens L. شوید			
0	0	80.87 ± 0.85^{a}	17.37 ± 2.53^{d}	18.71 ± 7.79^{b}	30.82 ± 0.27^{b}	10.98 ± 0.51^{d}
	40	78.21 ± 0.18^{a}	22.52 ± 0.79^{d}	31.98 ± 11.65^{ab}	29.29 ± 1.01^{bc}	13.61 ± 0.01^{cd}
	80	75.47 ± 0.84^{ab}	25.82 ± 1.10^{cd}	17.17 ± 2.31^{b}	25.24 ± 0.10^{de}	15.93 ± 0.03^{c}
	120	71.02 ± 0.36^{abc}	43.17 ± 2.52^{b}	21.12 ± 4.22^{b}	24.21 ± 0.46^{ef}	21.39 ± 0.05^{b}
	160	54.47 ± 1.20^{bc}	68.73 ± 5.54^{a}	36.29 ± 5.25^{ab}	21.64 ± 0.54^{f}	23.57 ± 0.93^{ab}
100	0	86.99 ± 0.94^{a}	13.04 ± 1.39^{d}	53.04 ± 5.09^{a}	34.75 ± 0.32^{a}	13.75 ± 0.02^{cd}
	40	84.19 ± 0.57^{a}	18.00 ± 1.59^{d}	16.97 ± 4.03^{b}	31.31 ± 1.18^{b}	15.77 ± 0.05^{c}
	80	81.25 ± 0.33^{a}	23.94 ± 1.58^{d}	24.91 ± 4.08^{b}	29.62 ± 0.19^{bc}	23.42 ± 1.01^{ab}
	120	76.51 ± 1.42^{a}	40.21 ± 4.09^{bc}	40.16 ± 2.60^{ab}	28.69 ± 0.35^{bc}	24.48 ± 0.0^{ab}
	160	49.63 ± 2.32^{c}	60.22 ± 3.87^{a}	38.91 ± 1.14^{ab}	27.43 ± 0.90^{d}	26.91 ± 2.43^{a}

داده‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on the Tukey test ($p\leq0.05$).

طبق نتایج حاصل از داده‌های این تحقیق تنش شوری موجب کاهش طول شاخساره و ریشه در دو گونه گشنیز و شوید، شد. کاهش طول گیاهان تحت تنش شوری، می‌تواند به علت کاهش پتانسیل آب موجود در خاک یا اثر اسمزی ناشی از حضور نمک، در خاک باشد، که موجب کاهش جذب آب توسط گیاه می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش تقسیم و طویل شدن سلول‌ها می‌گردد (Akbari Quzhi et al., 2010). در تحقیقات دیگری نیز، افزایش میزان شوری موجب کاهش ارتفاع در فلفل و شوید شده است (Najafi and Sarhangzadeh, 2012). نتایج همچنین نشان داد، استفاده از ملاتونین موجب افزایش ارتفاع شاخساره و ریشه در شرایط تنش و عدم تنش در هر دو گونه گشنیز و شوید می‌شود. ملاتونین از لحاظ ساختاری شبیه اکسین می‌باشد و به دلیل اثرات شبه اکسینی خود، موجب تحریک رشد رویشی، ریشه‌دهی و طویل شدن کلئوپتیل می‌شود (Arnao and Hernandez-Ruiz, 2014). احتمالاً ملاتونین به ایندول استیک اسید متابولیزه شده و یا مقدار اکسین درون‌زای گیاه را افزایش می‌دهد و از این طریق باعث افزایش رشد اندام هوایی گیاه می‌شود (Arnao and Hernández-Ruiz, 2017).

در تحقیقاتی که بر روی گیاهان توت‌فرنگی و لوبیا تحت تنش شوری انجام شده است، مشاهده شده که تنش شوری موجب کاهش تعداد برگ در این گیاهان می‌شود (Najafi Marghmaleki et al., 2016)، که با نتایج حاصل از این تحقیق بر روی دو گونه گشنیز و شوید همخوانی دارد. در مقابل استفاده از ملاتونین موجب افزایش تعداد برگ در دو گونه گشنیز و شوید شد، که با نتایج حاصل از تاثیر ملاتونین بر روی گیاه باقلا تحت تنش شوری و گیاه جو همسو است (Zhang et al., 2013;El-Ghany and Attia, 2020). این افزایش در تعداد برگ با استفاده از ملاتونین را می‌توان به نقش ثابت شده ملاتونین در افزایش تقسیم سلولی نسبت داد که موجب افزایش تعداد برگ‌ها شده است (Murch and Saxena, 2002).

گزارش شده است که تنش شوری سبب کاهش وزن تر و خشک در شوید می‌شود (Najafi and Sarhangzadeh, 2012)، که

مشاهدات حاصل از نتایج این تحقیق نیز مؤید همین موضوع است. به هم خوردن تنظیم اسمزی، کاهش آب قابل دسترس، عدم تعادل عناصر غذایی، سمیّت یون‌های کلر و سدیم سبب کاهش وزن خشک گیاهان می‌شوند (Munns, 2005). در پژوهشی بر روی گیاه باقلا و گیاه جو دوسر تحت تنش شوری، کاربرد ملاتونین موجب افزایش وزن تر و خشک شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (El-Gao et al., 2019;Ghany and Attia, 2020). استفاده از ملاتونین در گیاهان مختلف نیز موجب افزایش وزن خشک شد (Wang et al., 2007;Oloumi et al., 2018). استفاده از ملاتونین ممکن است از طریق افزایش غلظت یون منیزیم، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین و فلاونوئید باعث حفظ کلروفیل و متعاقباً افزایش وزن خشک گیاه شود (Farouk and Al-Amri, 2019).

کلروفیل در شرایط تنش شوری می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، تغییر ساختار، عملکرد و کاهش محتوای پروتئین‌ها بویژه پروتئین‌های غشای گیاهان و آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل مانند، ۵-آمینو لوولونیک اسید دهیدراتاز، پورفوبیلینوژن دآمیناز، پروتوکلروفیلید اکسیدوردوکتاز باشد (Turan and Tripathy, 2014). همچنین تنش شوری باعث می‌شود که گلوتامین که پیش ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر بیوسنتز کلروفیل شرکت داشته باشد و بیشتر در سنتز پرولین مصرف شود و به همین دلیل مقدار کلروفیل کل کاهش می‌یابد (Bybordi, 2012). این تحقیق همچنین نشان داد که افزایش سطوح شوری موجب کاهش کاروتنوئید در دو گونه گشنیز و شوید می‌شود. کاهش کاروتنوئیدها در شرایط شور و شرایطی که در آن گیاه با کمبود آب مواجه است، می‌تواند ناشی از اکسید شدن توسط ترکیبات ROS و تخریب کاروتنوئیدها یا تبدیل بتاکاروتن به ویوالزآنتین و سپس تشکیل زآزانتین در چرخه گزانتوفیل باشد (Bruce et al., 2002).

تیمار ملاتونین نقش مهمی در حفاظت از کلروفیل و افزایش فتوسنتز بدلیل بالا بردن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و در نتیجه مهار تولید گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌کند (Xu et al., 2010). تیمار ملاتونین از فعالیت آنزیم کلروفیلاز و آنزیم فئوفوربید-آ-اکسیژناز، آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل جلوگیری به عمل می‌آورد (Turk et al., 2014;Wang et al., 2014). یکی از مهمترین نقش های ملاتونین در گیاهان این است که به‌عنوان اولین خط دفاعی گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی و داخلی به‌عنوان یک آنتی اکسیدان و محافظت کننده قوی ایفای نقش می‌کند و از این طریق سبب حفظ کاروتنوئیدها در برابر انواع تنش‌ها، بویژه تنش‌های اکسیداتیو، می‌شود. همچنین ملاتونین تا حد زیادی بیوسنتز کاروتنوئید را برای کاهش آسیب اکسیداتیو نوری القا می‌کند (Liang et al., 2019). بنابراین ملاتونین می‌تواند موجب افزایش میزان کارتنوئید در گیاهان شود، که نتایج حاصل از این تحقیق نیز مؤید آن می‌باشد و از این طریق نیز می‌تواند بر بهبود ساختار و افزایش غلظت کلروفیل مؤثر باشد (Farouk and Al-Amri, 2019). ملاتونین موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در ذرت و باقلا تحت تنش شوری نیز شده است (Jiang et al., 2016).

در این تحقیق افزایش سطح شوری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ در دو گونه گشنیز و شوید شد. در واقع کاهش محتوای نسبی آب برگ، پاسخ عمومی گیاهان در معرض تنش اسمزی و ویژگی بسیار مناسبی از وضعیت آب در گیاه است (Aftab et al., 2011). کاهش در محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به علت کاهش دسترسی به آب در شرایط تنش باشد، یا اینکه سیستم‌های ریشه‌ای بدلیل کاهش سطح جذب و کاهش جذب آب از ریشه‌ها قادر به جبران آب از دست‌رفته توسط تعرق نباشند (Colom and Vazzana, 2003). کاربرد ملاتونین در گیاه بادرشبویه تحت تنش خشکی موجب افزایش محتوی نسبی آب شد (Kabiri et al., 2018). استفاده از پیش‌تیمار ملاتونین در نشاء خربزه خاتونی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش درصد رطوبت نسبی نسبت به شاهد گردید (Nastari Nasrabadi and Saberali, 2020). ملاتونین با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، انواع اکسیژن فعال و حفظ پایداری غشا می‌تواند موجب بهبود محتوی نسبی آب شود (Farouk and Al-Amri, 2019). در این تحقیق نیز استفاده از ملاتونین موجب بهبود محتوی نسبی آب در دو گونه گشنیز و شوید شد.

نتایج نشان می‌دهد که متناسب با افزایش تش شوری میزان نشت یونی، در دو گونه گشنیز و شوید افزایش پیدا می‌کند. در واقع تنش‌های محیطی از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول، موجب کاهش پایداری غشا و افزایش نشت مواد سیتوپلاسمی شده است و در نتیجه افزایش نسبت نشت الکترولیت را به دنبال دارد (Azari et al., 2012). تنش شوری سبب افزایش نشت یونی در دو گیاه همیشه بهار و اسفناج نیز شد (Kaya et al., 2001). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ملاتونین موجب کاهش نشت یونی در مقابل افزایش میزان شوری می‌شود. ملاتونین نفوذپذیری غشاهای پلاسما و پراکسیداسیون لیپید در غشاها را کاهش می‌دهد و باعث حفظ یکپارچگی و عملکرد غشا در گیاه در تنش شوری می‌شود، به این ترتیب سمیت مواد معدنی را کاهش داده و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (Wang et al., 2016). در هندوانه نیز، پیش تیمار برگی ملاتونین باعث کاهش نشت الکترولیت تحت تنش شوری شد (Dongxiao et al., 2017). همچنین کاربرد ملاتونین میزان نشت یونی را در گیاه خربزه خاتونی بطور معنی‌داری کاهش داد (Nastari Nasrabadi and Saberali, 2020).

افزایش غلظت پرولین در شرایط تنش، ممکن است به علت فعال‌سازی آنزیم‌های بیوسنتزی پرولین، کاهش تخریب آن در اثر اکسیداسیون و تبدیل آن به گلوتامات و کاهش استفاده از پرولین در

سنتز پروتئین‌ها و یا تبدیل پروتئین به پرولین باشد (Ashraf and McNeilly, 2004). محققان زیادی افزایش میزان پرولین در گیاهان را بر اثر استفاده از ملاتونین گزارش کرده‌اند که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارند (Campos et al., Zhang et al., 2017; Turk et al., 2014; 2019). این افزایش در میزان پرولین می‌تواند به علت نقش ملاتونین درحفظ آب سلول و محافظت از غشا و پروتئین از بین رونده ROS و عملکرد ملاتونین به‌عنوان یک آنتی اکسیدان در جلوگیری از تخریب پرولین مربوط شود (Turk et al., 2014).

پروتئین‌های محلول برگ تحت تنش شوری در نتیجه واکنش با رادیکال‌های آزاد، تغییر اسیدهای آمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین‌ها، کاهش سنتز پروتئین‌ها، تخریب مکانیسم های رونویسی و ترجمه mRNA کاهش می‌یابند (Ranjan et al., 2001). میزان پروتئین کل در گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری کاهش یافت که مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق بود (Debouba et al., 2016). در تحقیقی پیش‌تیمار گیاهچه‌های جعفری آفریقایی با ملاتونین موجب افزایش محتوای پروتئین در شرایط تنش شوری شد (Zare zeinali et al., 2020). تأثیر ملاتونین به‌عنوان یک آنتی-اکسیدانت در مقابل تنش‌های مختلف، با از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، از اکسیداسیون پروتئین‌ها جلوگیری کرده و موجب حفظ ساختار و عملکرد پروتئین‌ها می‌شود (Arnao and Hernandez-ruiz, 2014; Zhang et al., 2015; Jiang et al., 2016). در این تحقیق نیز نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ملاتونین موجب حفظ بیشتر پروتئین در گیاهان تحت تنش شده است.

در پژوهشی بر روی گیاه مریم‌گلی مشخص شد، که تنش شوری موجب افزایش محتوای فنل کل در این گیاه می‌شود (Grzeszczuk et al., 2018). نتایج حاصل از این تحقیق نیز نشان می‌دهد که تنش شوری موجب افزایش محتوی فنل کل در دو گونه گشنیز و شوید، شده است. تجمع ترکیبات فنلی در گیاهان متحمل به شوری راهکاری برای مهار فعالیت رادیکال‌های اکسیژن فعال و محافظت غشای سلول از صدمات تنش شوری محسوب می‌شود (Singh, 2004). کاربرد ملاتونین باعث افزایش معنادار ترکیبات فنلی تحت شرایط تنش در نشاء خربزه خاتونی شد (Nastari Nasrabadi and Saberali, 2020). کاربرد ملاتونین به‌عنوان تعدیل کننده اثرات تنش‌های محیطی، با افزایش میزان فنل در گیاهان تحت تنش، باعث حفظ آب درون سلول‌ها و حفظ ساختار سلولی آن‌ها می‌شود (Zhang et al., 2017). تیمار ملاتونین با تنظیم بیان ژن‌های مسیر فنیل پروپانوئید مانند paL باعث افزایش ترکیبات فنلی می‌شود (Zhang et al., 2015). در این تحقیق نیز گیاهان تحت تیمار ملاتونین محتوی فنل بیشتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، که شوری بر روی اغلب صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو گونه گشنیز و شوید تأثیر منفی می‌گذارد، ولی در مقابل استفاده از فیتوهورمون ملاتونین سبب بهبود این صفات در شرایط تنش و عدم تنش شده است. بنابراین استفاده از ملاتونین در گیاهان تحت تنش شوری می‌تواند تا حد زیادی اثرات منفی شوری بر روی این دو گونه گیاهی را تقلیل دهد.

منابع

1. Aftab, T., Khan, M.M.A., da Silva, J.A.T., Idrees, M., Naeem, M., & Moinuddin. (2011). Role of salicylic acid in promoting salt stress tolerance and enhanced artemisinin production in *Artemisia annua* L. *Journal of Plant Growth Regulation*, *30*, 425-435. https://doi.org/10.1007/s00344-011-9205-0
2. Akbari Quzhi, E., Izadi Darbandi, A., Borzoi, A., & Majd Abadi, A. (2010). An investigation on morphologic changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype on salinity condition. *Journal Science Technology Greenhouse Culture*, *4*, 71-82.
3. Arnao, M.B., & Hernández-Ruiz, J. (2014). Melatonin: plant growth regulator and/or biostimulator during stress? *Trends in Plant Science*, *19*(12), 789-797. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.006
4. Arnao, M.B., & Hernández-Ruiz, J. (2017). Growth activity, rooting capacity, and tropism: three auxinic precepts fulfilled by melatonin. *Acta Physiologiae Plantarum*, *39*, 1-9. https://doi.org/10.1080/07352680490433286.
5. Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2005). *Abiotic stresses: plant resistance through breeding and molecular approaches.* Haworth Press. New York.
6. Azari, A., Sanavi, S.M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A.M., & Alizadeh, B. (2012). Effect of salt stress on morphological and physiological traits of two species of rapeseed (*Brassica napus* and B. *rapa*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *14*(2), 121-135. (In Persian with English abstract)
7. Bates, L.S., Waldren, R.A., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
8. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

9. Bruce, W.B., Edmeades, G.O., & Barker, T.C. (2002). Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, *53*(366), 13-25. https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.13
10. Bybordi, A. (2012). Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*, *9*(4), 1092-1101.
11. Campos, C.N., Ávila, R.G., de Souza, K.R.D., Azevedo, L.M., & Alves, J.D. (2019). Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. *Agricultural Water Management*, *211*, 37-47. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.025
12. Chartzoulakis, K., & Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, *86*(3), 247-260. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00151-5
13. Colom, M.R., & Vazzana, C. (2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany*, *49*(2), 135-144. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00065-5.
14. Debouba, M., Gouia, H., Valadier, M.H., Ghorbel, M.H., & Suzuki, A. (2006). Salinity-induced tissue-specific diurnal changes in nitrogen assimilatory enzymes in tomato seedlings grown under high or low nitrate medium. *Plant Physiology and Biochemistry*, *44*(5-6), 409-419. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2006.06.017
15. Dongxiao, L.I., Zhang, D., Hongguang, W.A.N.G., Yanming, L.I., & Ruiqi, L.I. (2017). Physiological response of plants to polyethylene glycol (PEG-6000) by exogenous melatonin application in wheat. *Zemdirbyste-Agriculture*, *104*(3). https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.028
16. Abd El-Ghany, M.F., & Attia, M. (2020). Effect of exopolysaccharide-producing bacteria and melatonin on faba bean production in saline and non-saline soil. *Agronomy*, *10*(3), 316. https://doi.org/10.3390/agronomy10030316
17. Esandari, M., Saadati, S., Panahi, Sh., Akhbarfar, Gh., & Ghobadi, A. (2017). Effect of methyl jasmonate on some biochemical and physiological parameters of *Coriandrum sativum* L. under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(30), 243-256. (In Persian with English abstract)
18. Farouk, S., & Al-Amri, S.M. (2019). Ameliorative roles of melatonin and/or zeolite on chromium-induced leaf senescence in marjoram plants by activating antioxidant defense, osmolyte accumulation, and ultrastructural modification. *Industrial Crops and Products*, *142*, 111823. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111823
19. Gao, W., Feng, Z., Bai, Q., He, J., & Wang, Y. (2019). Melatonin-mediated regulation of growth and antioxidant capacity in salt-tolerant naked oat under salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(5), 1176. https://doi.org/10.3390/ijms20051176
20. Grzeszczuk, M., Salachna, P., & Meller, E. (2018). Changes in photosynthetic pigments, total phenolic content, and antioxidant activity of *Salvia coccinea* Buc'hoz Ex Etl. induced by exogenous salicylic acid and soil salinity. *Molecules*, *23*(6), 1296. https://doi.org/10.3390/molecules23061296
21. Janas, K.M., & Posmyk, M.M. (2013). Melatonin, an underestimated natural substance with great potential for agricultural application. *Acta Physiologiae Plantarum*, *35*, 3285-3292. https://doi.org/10.1007/s11738-013-1372-0
22. Jiang, Ch., Cui, Q., Feng, K., Xu, D., Li, Ch., & Zheng, Q. (2016). Melatonin improves antioxidant capacity and ion homeostasis and enhances salt tolerance in maize seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum 38*(4), 82. https://doi.org/10.1007/s11738-016-2101-2
23. Kabiri, R., Hatami, A., Oloomi, H., Naghizadeh, M., Nasibi, F., & Tahmasebi, Z. (2018). Study the effect of melatonin on early growth and some physiological and germination characteristics of seed and Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica*) seedling under osmotic stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *7*(1). (In Persian with English abstract)
24. Kaya, C., Higgs, D., & Kirnak, H. (2001). The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Bulg. Journal Plant Physiology*, *27*(3-4), 47-59.
25. Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York.
26. Li, C., Tan, D.X., Liang, D., Chang, C., Jia, D., & Ma, F. (2015). Melatonin mediates the regulation of ABA metabolism, free-radical scavenging, and stomatal behaviour in two Malus species under drought stress. *Journal of Experimental Botany*, *66*(3), 669-680. https://doi.org/10.1093/jxb/eru476
27. Li, X., Yu, B., Cui, Y., & Yin, Y. (2017). Melatonin application confers enhanced salt tolerance by regulating $Na+$ and $Cl−$ accumulation in rice. *Plant Growth Regulation*, *83*, 441-454. https://doi.org/10.1007/s10725-017-0310-3
28. Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., & Luo, X. (2019). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *246*, 34-43. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.058
29. Linchenthaler, H.R., & Wellburn, A.R. (1983). Determination of total carotenoides and clorophyll a and b of leaf extracts in diferent solventes. *Biochemical Society Transactions*, *11*, 1591-1592. https://doi.org/10.1042/bst0110591
30. Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*(3), 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134
31. Mahran, G.H., Kadry, H.A., Thabet, C.K., El-Olemy, M.M., Al-Azizi, M.M., Schiff, P.L., & Liv, N. (1992).

GC/MS analysis of volatile oil of fruits of *Anethum graveolens*. *International Journal of Pharmacognosy*, *30*(2), 139-144. https://doi.org/10.3109/13880209209053978
32. Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, *167*(3), 645-663. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x
33. Murch, S.J., & Saxena, P.K. (2002). Mammalian neurohormones: potential significance in reproductive physiology of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.)? *Naturwissenschaften*, *89*(12), 555-560. https://doi.org/10.1007/s00114-002-0376-1
34. Najafi Marghmaleki, S., Mortazavi, S.M.H., & Moallemi, N. (2016). The effects of salinity on vegetative growth physiology yield properties and fruit quality of strawberry cv. Camarosa. *Plant Production Technology*, *8*, 147-161. (In Persian with English abstract)
35. Najafi, N., & Sarhangzadeh, E. (2012). Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, *3*, 1-15. (In Persian)
36. Nastari Nasrabadi, H., & Saberali, S.F. (2020). Effect of polyethylene glycol pretreatment and melatonin on clod resistance of 'Khatoni' melon (*Cucumis melo* L.) transplant. *Journal of Horticultural Science*, *34*(3), 481-491. (In Persian with English abstract)
37. Oloumi, H., Nasibi, H., & Mozaffari, H. (2018). Investigation of the growth rate and secondary metabolites content of *Lepidium sativum* under exogenous melatonin treatment. *Journal of Nova Biologica Reperta*, *5*(2), 144-154. (In Persian with English abstract)
38. Omidbaigi, R. (2000). *Approaches to production and processing of medicinal plants*. AstaneQuds Razavi Publication, Tehran.
39. Parida, A.K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *60*(3), 324-349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
40. Park, S., & Back, K. (2012). Melatonin promotes seminal root elongation and root growth in transgenic rice after germination. *Journal of Pineal Research*, *53*(4), 385-389. https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2012.01008.x
41. Porra, R.J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, *73*, 149-156. https://doi.org/10.1023/A:1020470224740
42. Ranjan, R., Bohra, S.P., & Jeet, A.M. (2001). *Book of plant senescence*. Jodhpur Agrobios New York.
43. Sefidkon, F. (2001). Essential oil of the aerial parts and fruits of *Coriandrum Sativum*. *Iranian Journal of Medicinal and Plants*, *13*, 71-87. (In Persian with English abstract)
44. Sims, D.A., & Gamon, J.A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, *81*, 337-354. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X
45. Singh, A.K. (2004). The physiology of salt tolerance in four genotypes of chickpea during germination. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *6*, 87-93.
46. Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*, 144-158.
47. Strain, H.H., & Svec, W.A. (1966). *Extraction, separation, estimation and isolation of chlorophylls*. Academic press. New York.
48. Tan, D.X., Hardeland, R., Manchester, L.C., Korkmaz, A., Ma, S., Rosales-Corral, S., & Reiter, R.J. (2012). Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. *Journal of Experimental Botany*, *63*(2), 577-597. https://doi.org/10.1093/jxb/err256
49. Turan, S., & Tripathy, B. (2014). Salt-stress induced modulation of chlorophyll biosynthesis during de-etiolation of rice seedlings. *Physiologia Plantarum*, *153*(3), 477-491. https://doi.org/10.1111/ppl.12250
50. Turk, H., Erdal, S., Genisel, M., Atici, O., Demir, Y., & Yanmis, D. (2014). The regulatory effect of melatonin on physiological, biochemical and molecular parameters in cold-stressed wheat seedlings. *Plant Growth Regulation*, *74*, 139-152. https://doi.org/10.1007/s10725-014-9905-0
51. Wang, L.Y., Liu, J.L., Wang, W.X., & Sun, Y. (2016). Exogenous melatonin improves growth and photosynthetic capacity of cucumber under salinity-induced stress. *Photosynthetica*, *54*, 19-27. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0140-3
52. Wang, P., Sun, X., Xie, Y., Li, M., Chen, W., Zhang, S., & Ma, F. (2014). Melatonin regulates proteomic changes during leaf senescence in *Malus hupehensis*. *Journal of Pineal Research*, *57*(3), 291-307. https:doi.org/10.1111/jpi.12169
53. Wang, Y.L., Wang, X.D., Zhao, B., & Wang, Y.C. (2007). Reduction of hyperhydricity in the culture of Lepidium meyenii shoots by the addition of rare earth elements. *Plant Growth Regulation*, *52*, 151-159. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9185-z
54. Xu, X.D., Sun, Y., Sun, B., Zhang, J., & Guo, X.Q. (2010). Effects of exogenous melatonin on active oxygen metabolism of cucumber seedlings under high temperature stress. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, *21*(5), 1295-1300.

55. Zare zeinali, M., nasibi, F., Manuchehri Kalantari, K., & Ahmadi Mousavi, E. (2020). Effect of melatonin premedication on some physiological parameters and reduction of oxidative stress in *Tagetes etecta* seedlings under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, *9*(35), 115-125. (In Persian with English abstract)
56. Zhang, H.J., Zhang, N.A., Yang, R.C., Wang, L., Sun, Q.Q., Li, D.B., & Guo, Y.D. (2014). Melatonin promotes seed germination under high salinity by regulating antioxidant systems, ABA and GA 4 interaction in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Pineal Research*, *57*(3), 269-279. https://doi.org/10.1111/jpi.12167
57. Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S., & Guo, Y.D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, *66*(3), 647-656. https://doi.org/10.1093/jxb/eru336
58. Zhang, N., Zhao, B., Zhang, H.J., Weeda, S., Yang, C., Yang, Z.C., & Guo, Y.D. (2013). Melatonin promotes water- stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Pineal Research*, *54*(1), 15-23. https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2012.01015.x
59. Zhang, Y.P., Xu, S., Yang, S.J., & Chen, Y.Y. (2017). Melatonin alleviates cold-induced oxidative damage by regulation of ascorbate–glutathione and proline metabolism in melon seedlings (*Cucumis melo* L.). The *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *92*(3), 313-324. https://doi.org/10.1080/14620316.2016.1266915
60. Zou, J.N., Jin, X.J., Zhang, Y.X., Ren, C.Y., Zhang, M.C., & Wang, M.X. (2019). Effects of melatonin on photosynthesis and soybean seed growth during grain filling under drought stress. *Photosynthetica*, *57*(2), 512-520. https://doi.org/10.32615/ps.2019.066